

籾殻灰のコンクリート材料への再資源化 Application of Rice Husk Ash to Concrete Materials

石黒 覚
Satoru ISHIGURO

1. はじめに 農業副産物である籾殻は、籾質量の約 20%を占め、世界の稲作地域においては毎年多量に排出されている。国内では施設園芸などの暖房熱源、暗渠排水の疎水材、畜舎内の敷材、および、燐炭として土壌改良材など、主に農業分野において利用されているほか、野焼きなどの方法で焼却処理されたり、圃場内に廃棄されたりしている。籾殻を焼却処理した場合、籾殻乾燥質量の約 17%の灰が発生する。この灰は、質量で約 90%の二酸化けい素 (SiO_2) を含んでおり、この含有率はフライアッシュよりも多く、シリカフェームの含有率に匹敵する。その成分組成ならびにポゾラン効果に着目し、1970 年代後半から国内外でコンクリート用混和材としての研究が進められてきた^{1,2)}。本発表では、コンクリート用混和材としての籾殻灰の再資源化について、既往の文献資料に基づいて報告する。

2. 籾殻灰の品質 籾殻灰 (Rice Husk Ash : RHA とも記す) は、籾殻を炉などで燃焼させて製造し、その後、ボールミルなどで粉砕したものである。籾殻灰の品質は産地や製造方法 (燃焼方法、燃焼温度および時間) などの影響を受けるため、1) 強熱減量、2) 化学成分、3) 物理的性質の各項目について品質の確認をしている事例が多い。**Table 1** は文献³⁾から引用した品質事例であり、コンクリート関連の 35 文献資料に示された籾殻灰の品質 (最小, 最大, 平均値) を示している。これによると、平均では強熱減量が 3.5%, SiO_2 は 92.3%, 密度 2.16g/cm^3 , BET 法の窒素ガス吸着法で求めた比表面積は $43.8\text{m}^2/\text{g}$, 平均粒径 D50 は $8.3\mu\text{m}$, 電気伝導率差 (ポゾラン活性の目安とされる指標で、この値が 1.2 以上の場合ポゾラン活性は良好と判定される) の値は 2.92mS/cm となっている。

Table 1 籾殻灰の特性³⁾
Properties of rice husk ash

	化学成分(%)								密度 (g/cm^3)	比表面積 (m^2/g)	平均粒径 (μm)	電気伝導率差 (mS/cm)
	Ig-loss	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	Na_2O	K_2O				
最小	0.5	82.5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.00	0.01	2.06	1.0	5.2	0.91
最大	9.7	97.7	2.3	2.1	1.2	1.0	1.12	3.68	2.27	122.8	16.4	4.50
平均	3.5	92.3	0.6	0.5	0.3	0.4	0.23	1.67	2.16	43.8	8.3	2.92

3. 籾殻灰を用いる場合のコンクリートの配合 籾殻灰を用いる場合、コンクリート材料として普通ポルトランドセメントおよび普通骨材などが一般的に用いられている。また、混和剤として高性能 AE 減水剤が多く用いられており、必要な混和剤量は籾殻灰の混入率の増加に伴って増大する傾向にある。文献資料では籾殻灰混入率 50%以上の研究報告もみられるが、一般的には混入率 30%程度までの研究事例が多い。実用的に用いる場合、品質改善、混入率と混和剤量の関係などから 30%以下の混入率が適切と考えられる。

4. 粉殻灰を混入したコンクリートの性状

粉殻灰を混入したコンクリートのフレッシュ性状として、1)粘性が増大する傾向がある、2)ブリーディングの抑制効果がある、3)凝結への影響は実用上少ない、などの結果が報告されている³⁾。一方、硬化後のコンクリートの強度特性について、1)圧縮強度は混入率の増加に伴って増加するが、ポゾラン活性度によっては初期材齢において低下する場合もある。また、最大強度を示す混入率が存在する報告例もある。2)引張・曲げ強度は無混入コンクリートと同等以上になる。3)弾性係数は同一強度の場合には少し低下する傾向がある。

圧縮強度以外の特性について、1)コンクリートの断熱温度上昇量は粉殻灰を混入することにより小さくなり、圧縮強度も同等以上になるので有効であるとの報告がある。2)アルカリ骨材反応の抑制効果は、他の混和材に比べて同等以上の効果を有している。**Fig. 1**はモルタルバー法による試験結果の例を示している。これによると、粉殻灰を10および15%混入した場合(RH10F および RH15F)、無混入(BA)に比べて抑制効果が顕著に現れている。3)乾燥収縮は無混入に比較して同等以下、あるいは増大するという報告がある。これは、使用材料、配合条件の影響によると考えられ、粉殻灰の混入の影響は明確ではない。4)中性化は粉殻灰の混入により増大する場合と同等であるという報告がある。これは組織を緻密にして中性化を抑制する作用と水酸化カルシウムを消費して促進させる作用の各影響の大小が関係する。**Fig. 2**は混入率0,10,20,30%の中性化試験結果の例である。5)凍結融解抵抗性に関しては無混入に比べて同等以上となる。6)塩化物浸透抑制、水密性および耐酸性に関する報告は少ないが、一般的に粉殻灰の混入によって向上する。

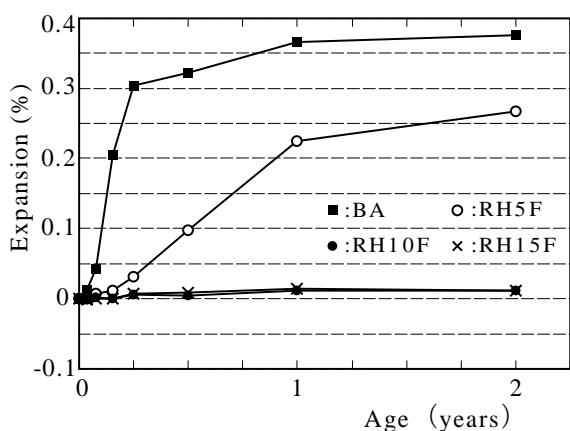


Fig.1 アルカリ骨材反応の膨張抑制効果⁴⁾
Effect of the added percentage of RHA on expansion caused by reactive andesite

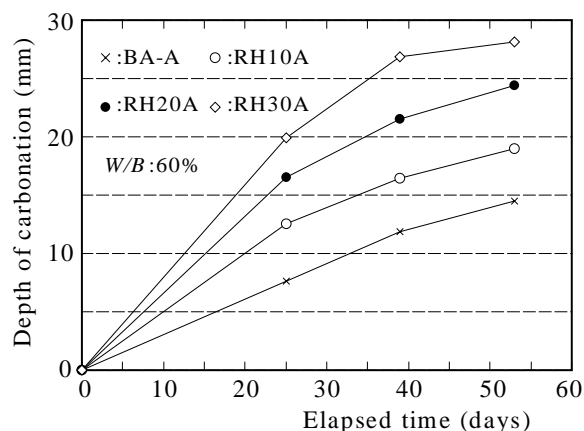


Fig. 2 コンクリートの中酸化特性⁵⁾
Carbonated depth of concrete with different RHA content

5. おわりに

粉殻灰の研究はポゾラン活性を期待したコンクリート物性の改善が中心となっている。粉殻灰の品質は産地や製造条件によって大きく異なるものであり、現時点では実用化に向けたデータ蓄積や施工実績が十分とは言えない。今後、製造設備、安定供給、品質管理および経済性など、実用化に向けて総合的な検討が必要である。

参考文献：1) Mehta, P.K. : Properties of blended cements made from rice husk ash, ACI Journal, 74(9), 440-442 (1976), 2) Yamamoto, Y. and Lakho, S.M. : Production and utilization of active rice husk ash as a substitute for cement, Proc. of JSCE, 32, 157-166 (1982), 3) 日本コンクリート工学協会：廃棄物のコンクリート材料への再資源化研究委員会報告書—無機系廃棄物等の適用（粉殻灰）—, 137-151. (2003), 4) 石黒覚：粉殻灰および天然ゼオライトの混入によるアルカリ骨材反応の膨張抑制効果, 農業土木学会論文集, No.232, 99-103 (2004), 5) 石黒覚：コンクリートの耐久性に及ぼす粉殻灰の混入の影響, 農業土木学会論文集, No.238, 97-105 (2005)